


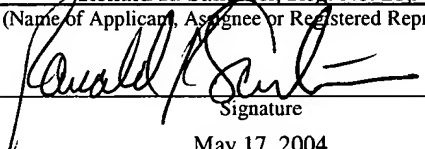
itw

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s) : Kie Jin LEE et al.
Serial No. : 10/781,481
For  NEAR FIELD MICROSCOPE INCLUDING WAVEGUIDE
RESONATOR
Filed : February 18, 2004
Examiner : Not Yet Assigned
Art Unit : 2878

745 Fifth Avenue
New York, NY 10151

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450, on May 17, 2004.

Ronald R. Santucci, Reg. No. 28,988
(Name of Applicant, Assignee or Registered Representative)

Signature
May 17, 2004
Date of Signature

TRANSMITTAL OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Applicants enclose herewith a certified copy of the Republic of Korea Patent Application No. 2003-10710 filed February 20, 2003 which has been claimed for priority benefits in the above referenced patent application.

The Commissioner is authorized to charge any fees that may be required to Deposit

Account No. 50-0320.

Respectfully submitted,
FROMMER LAWRENCE & HAUG LLP

By:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Ronald R. Santucci", is written over a horizontal line.

Ronald R. Santucci

Reg. No. 28,988

(212) 588-0800



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

출원 번호 : 10-2003-0010710
Application Number

출원 년 월 일 : 2003년 02월 20일
Date of Application FEB 20, 2003

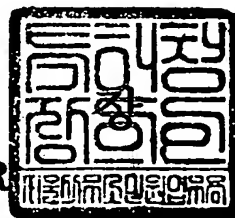
출원인 : 학교법인 서강대학교
Applicant(s) SOGANG UNIVERSITY CORPORATION



2003 년 08 월 04 일

특 허 청

COMMISSIONER





【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0014
【제출일자】	2003.02.20
【국제특허분류】	G02B
【발명의 명칭】	도파관 공진기를 이용한 근접장 현미경
【발명의 영문명칭】	Near field microscope using waveguides resonator
【출원인】	
【명칭】	학교법인 서강대학교
【출원인코드】	2-1995-276865-1
【대리인】	
【성명】	이영필
【대리인코드】	9-1998-000334-6
【포괄위임등록번호】	2002-066351-0
【대리인】	
【성명】	이해영
【대리인코드】	9-1999-000227-4
【포괄위임등록번호】	2002-066352-7
【발명자】	
【성명의 국문표기】	이기진
【성명의 영문표기】	LEE, Kie Jin
【주민등록번호】	600516-1047710
【우편번호】	135-200
【주소】	서울특별시 강남구 자곡동 426-4
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김주영
【성명의 영문표기】	KIM, Joo Young
【주민등록번호】	750704-1233218



【우편번호】	413-718
【주소】	경기도 파주시 아동동 파라다이스아파트 101-1110
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김명식
【성명의 영문표기】	KIM, Myung Sik
【주민등록번호】	750227-1079624
【우편번호】	464-892
【주소】	경기도 광주시 오포읍 신현리 963
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	박원균
【성명의 영문표기】	PARK, Won Kyun
【주민등록번호】	760222-1661612
【우편번호】	122-130
【주소】	서울특별시 은평구 진관외동 424-29
【국적】	KR
【심사청구】	청구
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 이영필 (인) 대리인 이해영 (인)
【수수료】	
【기본출원료】	20 면 29,000 원
【가산출원료】	12 면 12,000 원
【우선권주장료】	0 건 0 원
【심사청구료】	16 항 621,000 원
【합계】	662,000 원
【감면사유】	학교
【감면후 수수료】	331,000 원
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통

**【요약서】****【요약】**

사용 가능한 주파수 대역이 확장되고, 감도와 분해능이 향상된 근접장 현미경이 개시되어 있다.

이 개시된 근접장 현미경은, 웨이브의 주파수를 조절할 수 있는 웨이브 소스; 상기 웨이브 소스로부터 출사된 웨이브가 진행되는 도파관 공진기; 상기 도파관의 외벽을 관통하여 삽입되어, 도파관을 통해 진행하는 웨이브가 샘플과 상호작용하도록 하는 탐침; 상기 탐침을 통해 전파되어 샘플과 상호작용한 후 상기 탐침과 도파관을 통해 진행된 웨이브를 검출하는 검출기;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

상기와 같이 도파관 공진기에 결합된 탐침을 이용하여, 마이크로웨이브 대역에서부터 밀리미터웨이브 대역까지 사용할 수 있으며, 부피를 최소화할 수 있고, 감도와 분해능을 향상시킬 수 있다.

【대표도】

도 3

【명세서】

【발명의 명칭】

도파관 공진기를 이용한 근접장 현미경{Near field microscope using waveguides resonator}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 종래의 동축선을 이용한 근접장 현미경을 나타낸 도면이다.

도 2는 종래의 슬릿이 형성된 도파관을 이용한 근접장 현미경을 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명에 따른 도파관 공진기를 이용한 근접장 현미경의 전체적인 구성도이다.

도 4a는 본 발명의 제1실시예에 따른 근접장 현미경에 사용되는 도파관 공진기의 사시도이다.

도 4b는 도 4a의 IV-IV 단면도이다.

도 4c는 본 발명의 제1실시예에 따른 근접장 현미경에 사용되는 도파관 공진기에 결합된 하이브리드 탐침을 나타낸 것이다.

도 5는 본 발명의 제1실시예에 따른 근접장 현미경에 사용되는 도파관 공진기에 자기 탐침이 결합된 예를 도시한 것이다.

도 6a는 본 발명의 제2실시예에 따른 근접장 현미경에 사용되는 도파관 공진기를 나타낸 것이다.

도 6b는 도 6a의 VI-VI 단면도이다.

도 7은 본 발명의 제2실시예에 따른 근접장 현미경에 사용되는 도파관 공진기에 자기 탐침이 결합된 예를 도시한 것이다.

<도면 중 주요부분에 대한 부호의 설명>

- | | |
|----------------------|----------------|
| 3...웨이브 소스, | 5,20...도파관 공진기 |
| 7,7',7',22,22'...탐침, | 8...홀 |
| 9...튜너, | 10...샘플 |
| 12...검출기, | 14...락-인 증폭기 |
| 25...슬릿, | 22a...루프 탐침 부분 |
| a...도파관 공진기 단면의 가로길이 | |
| b...도파관 공진기 단면의 세로길이 | |
| d...도파관 공진기의 길이 | |

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<20> 본 발명은 근접장 현미경에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 도파관 공진기에 탐침을 결합하여 사용 가능한 주파수 대역이 확장되고, 감도와 분해능이 향상된 근접장 현미경에 관한 것이다.

<21> 나노미터 단위의 미세한 샘플의 형상을 관측하기 위한 광학 현미경은 빛으로 물체를 관측하기 때문에 회절한계 현상으로 인해 분해능에 한계가 있다. 회절한계 현상 때문에 크기가 빛의 파장의 1/2 이하인 물체는 광학적으로 관측할 수 없게 된

다. 이러한 회절한계를 극복하고 빛의 파장보다 매우 작은 크기를 갖는 물질의 광학적 특성을 측정할 수 있는 근접장 현미경이 등장하게 되었다. 근접장 현미경에서는 빛의 파장보다 작은 개구를 통과한 빛이 이 개구의 크기와 같거나 작은 거리에 있는 샘플에 조사되도록 되어 있다. 이는 샘플 표면에서부터 빛의 파장보다 작은 거리 내에 있는 근접장은 회절을 일으키지 않는 현상을 이용하여 회절한계 현상을 극복하기 위한 것이다.

<22> 이러한 근접장(evanescent field and near field) 효과를 이용한 비접촉, 비파괴 현미경에 대한 연구는 STM(scanning tunneling microscope) 및 AFM(atomic force microscope)이 실현된 이래 표면 연구의 한 분야로서 등장하였다. 광학적 현미경 기술의 발전으로 인하여 기존의 광학적 방법에 의한 매질의 특성 측정이 거시적 관점에서 미시적 관점으로 전환되었다. 따라서, 샘플의 미시적 특성을 측정하는 방법이 새로운 연구 분야로 각광을 받기 시작했다. 한편, 산업적 측면에서도 각종 전자부품이 집적화되면서 미세구조에 대한 물리적 특성 연구가 중요한 문제로 부각되고 있다. 특히, 회절 한계를 갖는 고전적인 광학 측정 장비와 달리 회절 한계를 극복하는 새로운 측정 장비의 개발은 미세구조의 물리적 특성을 이해하고, 측정하는데 필수적인 방법이 되었다.

<23> 회절 한계를 극복한 방법의 하나로 근접장 효과를 이용한 현미경이 개발되었다. 특히, 통신부품이 집적화되면서 집적화 디바이스의 미세구조에 대한 광학 특성 연구에 마이크로파 및 밀리미터파 영역에서의 근접장 현미경의 개발이 요구되었다.

<24> 마이크로파를 이용한 근접장에 대한 실험은 Ash와 Nicholls에 의해 처음 이루어졌고, 현재까지 마이크로파 근접장 현미경은 발전을 거듭하여 다양한 응용분야에 적응되고 있다. 마이크로파 근접장 이미지를 얻는 방법으로 동축선(coaxial cable) 공진기, 스트립라인(stripline) 공진기, 도파관 슬릿(waveguide slit)을 이용한 방법들이 있다.

- <25> 도 1은 종래의 동축선 공진기를 이용한 광학 현미경을 도시한 것으로, 'APPLIED PHYSICS LETTERS, VOLUME 75, NUMBER 20'에 개시되어 있다.
- <26> 이 근접장 광학 현미경은, 마이크로웨이브 소스(100)로부터 출사된 웨이브가 동축선 공진기(103)를 통해 진행되고, 상기 동축선 공진기(103)의 단부에 형성된 탐침(105)을 통해 광학적 특성을 조사하고자 하는 샘플(107)에 도달하도록 되어 있다. 상기 탐침(105)을 통해 나온 웨이브가 샘플(107)과 상호작용한 다음, 상기 탐침(105)을 통해 다시 동축선 공진기(103)로 들어간다. 그리고, 샘플(107)과의 상호작용에 의해 변형된 마이크로웨이브가 다이오드 검출기(110)에 의해 검출된다. 이와 같이 하여 샘플의 미시적, 광학적 특성을 측정할 수 있다. 여기서, 미설명 부호 102는 방향성 커플러를 나타낸다.
- <27> 그런데, 동축선 공진기(103)를 이용하면 동축선 구조로 인한 차단 주파수 때문에 마이크로파 대역에서의 실험만을 수행할 수 있다. 따라서, 근접장 현미경의 공진 주파수를 마이크로파 대역의 특정 주파수에만 국한시켜 사용해야 하므로 최대의 감도(sensitivity)를 얻는데 한계가 있다. 그리고, 동축선 공진기(103)는 원통형의 내부 도체와 외부 도체로 이루어져 있는데, 이와 같이 두 개의 도체로 이루어진 구조에서는 TEM과만을 이용하여 실험을 수행해야 한다. 따라서, 샘플의 광학적 특성을 얻기 위해 웨이브의 다양한 모드를 사용하는데 제한이 따른다. 즉, 샘플이 웨이브와 상호작용하는데 있어서, 샘플마다 광학적 특성이 특히 잘 발현되는 모드가 있는데, 동축선 공진기에서는 TEM 모드만을 사용할 수밖에 없으므로 동축선 공진기를 이용한 근접장 현미경을 이용하여 조사할 수 있는 샘플의 종류나 범위가 좁아질 수밖에 없다.
- <28> 또한, 상기 동축선 공진기(103)는 마이크로파 대역의 주파수를 사용하기 때문에 파장이 길어져서 동축선 공진기(103)의 길이가 길어진다. 도 1에 사용된 동축선 공진기(103)는 약 2m

의 길이를 갖는다. 이와 같이 동축선 공진기(103)를 이용한 광학 현미경은 전체적인 부피가 매우 크고, 이러한 문제로 인해 상품화에 문제가 있다.

<29> 종래에 또 다른 근접장 현미경으로서, 도파관 슬릿을 이용한 현미경이 있다. 'APPLIED PHYSICS LETTERS, VOLUME 77, NUMBER 1'에 개시된 도파관 슬릿을 이용한 근접장 현미경은, 도파관(113)의 일단에 슬릿(115)이 형성되고, 이 슬릿(115)의 아래쪽에 샘플(117)이 놓인 기판(120)이 배치되고, 상기 기판(120)의 아래쪽에 있는 광원(122)으로부터 광이 조사되도록 된 구조로 되어 있다. 미설명 부호 123은 셰도우 마스크를 나타낸다.

<30> 상기 구조에서 광원(122)으로부터 조사된 광이 샘플(117)과 상호작용한 후 상기 슬릿(115)을 통해 상기 도파관(113)으로 들어간다. 그리고, 샘플과 상호작용(interaction)한 후의 광에 대한 특성을 검출기에 의해 측정함으로써 샘플의 형상과 특성을 알아낼 수 있다. 그런데, 상기와 같은 도파관 슬릿 구조에서는 웨이브가 슬릿을 통과하여 넓게 퍼지게 되기 때문에 웨이브 손실이 크고, 분해능이 저하되는 문제점이 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<31> 본 발명은 상기에 제기된 문제를 해결하기 위하여 안출된 것으로, 부피가 작으면서 감도와 분해능이 우수하여 정밀하게 샘플의 광학적 특성을 조사할 수 있는 근접장 현미경을 제공하는데 그 목적이 있다.

<32> 또한, 마이크로파에서부터 밀리미터파 대역까지 사용할 수 있는 웨이브의 주파수 범위를 확장시키고, TE모드와 TM 모드를 이용하여 광학적 특성을 측정할 수 있는 샘플의 범위를 확장시킨 근접장 현미경을 제공하는데 그 목적이 있다.

<33> 또한, 도파관 공진기의 공진 주파수를 변화시킬 수 있도록 함으로써 하나의 도파관 공진기를 이용하여 다양한 샘플을 측정할 수 있어 제조 비용을 절감시키는 근접장 현미경을 제공하는데 또 다른 목적이 있다.

【발명의 구성 및 작용】

<34> 상기한 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에 따른 도파관 공진기를 이용한 근접장 현미경은, 웨이브 소스; 상기 웨이브 소스로부터 출사된 웨이브가 진행되는 도파관 공진기; 상기 도파관의 외벽을 관통하여 삽입되어, 도파관을 통해 진행하는 웨이브가 샘플과 상호작용하도록 하는 탐침; 상기 탐침을 통해 전파되어 샘플과 상호작용한 후 상기 탐침과 도파관을 통해 진행된 웨이브를 검출하는 검출기;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<35> 상기 도파관 공진기의 일단에 이동 가능하게 결합되어 도파관 공진기의 부피를 조절할 수 있도록 된 튜너가 구비된다.

<36> 상기 도파관 공진기의 내부쪽에 있는 탐침 부분이 직선 형태 또는 루프 형태로 형성될 수 있다.

<37> 상기 루프 탐침 부분을 관통하는 자기장의 최대값을 H_0 , TE_{10P} 모드에서의 p값, 는 루프 탐침 부분의 전단 위치를 z_i , 루프 탐침 부분의 후단 위치를 z_f , 도파관 공진기의 단면의 가로 길이를 a , 도파관 공진기의 세로 도파관 공진기의 길이를 d 라고 할 때, 상기 탐침에 발생하는 기전력의 크기는 다음의 조건식을 만족하는 것을 특징으로 한다.

<38> <조건식>

$$\text{<39> } V = -\frac{\mu_0 \omega a y H_0}{\pi} \left[2 \cos \frac{1}{2} \left\{ \frac{p\pi}{d} (z_f + z_i) \right\} \sin \frac{1}{2} \left\{ \frac{p\pi}{d} (z_f - z_i) \right\} \right]$$

<40> 상기 탐침은 $z_f = 3d/2p$, $z_i = d/2p$ 에 배치되는 것이 바람직하다.

- <41> 여기서, 상기 도파관 공진기에 슬릿이 형성되고, 탐침이 상기 슬릿을 따라 이동 가능하도록 되어 있다.
- <42> 상기 웨이브 소스는 마이크로 웨이브 또는 밀리미터 웨이브를 출사시킬 수 있다.
- <43> 상기 웨이브 소스로부터 출사되는 웨이브의 파장을 λ 라고 할 때, 상기 도파관 공진기는 $\lambda/4$ 의 길이를 가지는 것이 바람직하다.
- <44> 이하, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 도파관 공진기를 이용한 근접장 현미경에 대해 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.
- <45> 본 발명에 따른 근접장 현미경은, 도 3을 참조하면 웨이브 소스(3), 웨이브 소스(3)로부터 출사된 웨이브가 진행되는 도파관 공진기(5), 상기 도파관 공진기(5)를 관통하여 삽입된 탐침(7)을 포함한다. 그리고, 상기 도파관 공진기(5)의 일측에는 도파관 공진기(5)의 부피를 변화시킬 수 있도록 도파관 공진기(5)의 길이방향으로 이동가능하게 된 튜너(9)가 구비된다.
- <46> 상기 웨이브 소스(3)는 웨이브의 파장을 조절할 수 있도록 되어 있어 마이크로웨이브 뿐만 아니라 밀리미터웨이브를 출사시킬 수 있다.
- <47> 상기 도파관 공진기(5)는 도 4a에 도시된 바와 같이 중공이고, 그 단면이 예를 들어, 직육면체 형태로 된 하나의 도체로 이루어져 있다. 이와 같이 하나의 도체로 이루어진 구조에서는 TEM 모드는 존재할 수 없고 TM 모드와 TE 모드만이 존재한다.
- <48> 상기 도파관 공진기(5)의 단면에서의 가로 길이를 a 라 하고, 세로 길이를 b 라 할 때, a, b 에 따른 TE 모드를 구하면 다음과 같다. TE 모드는 전기장의 z 방향 성분 $E_z=0$ 이고, 자기장의 z 방향 성분 H_z 는 수학식 1과 같은 해를 갖는다.

<49> **【수학식 1】**
$$H_z(x, y, z) = A_{mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{-j\beta z}$$

<50> 여기서, z 은 웨이브의 진행 방향 좌표를 나타내고, x, y 는 웨이브의 진행 방향에 대해 수직인 면에서의 좌표를 나타내며, n, m 은 정수를 나타낸다. 그리고, A_{mn} 은 도파관 공진기(5)에 탐침(7)이 삽입되지 않은 경우에 도파관 공진기(5)를 통해 흐르는 웨이브의 진폭을 나타내고, β 는 전파상수를 나타낸다.

<51> 다음, TM 모드는 자기장의 z 방향 성분 $H_z=0$ 이고, E_z 는 수학식 2와 같은 해를 갖는다.

<52> **【수학식 2】** $E_{z(x,y,z)} = A_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{-j\beta z}$

<53> 한편, 상기 도파관 공진기(5)의 단면에서의 가로 길이(a)와, 세로 길이(b)에 따라 상기 웨이브 소스(3)의 주파수 대역을 1GHz에서 220GHz에 이르기까지 다양하게 사용할 수 있다. 즉, a, b 에 따라 도파관 공진기(5)의 차단주파수가 결정되고, 차단주파수 이하의 주파수는 도파관 공진기(5)를 통해 전파될 수 없다. 도파관 공진기(5)의 차단주파수 f_{cmm} 은 TE 모드와 TM 모드에서 모두 동일하고, 다음과 같은 해를 갖는다.

<54> **【수학식 3】** $f_{cmm} = \frac{k_c}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$

<55> 여기서, f_{cmm} 은 m 과 n 의 조합으로 이루어진 각 모드의 차단 주파수를 나타내고, 도파관 공진기(5)가 유전율 ϵ 과 투자율 μ 로 채워져 있는 것으로 가정한다. 상기 수학식 3에 의하면 차단주파수는 도파관 공진기(5)의 단면의 치수에 의해 정해진다. 차단주파수 중 가장 낮은 차단주파수를 갖는 모드를 기본 모드(dominant mode)라 하는데, $a > b$ 라고 가정할 때 TE_{10} 모드에서 차단주파수가 가장 작아진다. 차단주파수 이하의 웨이브는 도파관 공진기(5)를 통해 진행될 수 없으므로 차단주파수가 작을수록 웨이브의 주파수 대역이 넓어진다.

- <56> 본 발명은 도파관 공진기(5)를 이용하므로 TEM 파만 발생하는 동축선 공진기와 달리 TE 모드와 TM 모드가 발생되고, 이에 따라 좀더 다양한 모드를 이용하여 조사할 수 있는 샘플의 영역을 확대시킬 있다. 또한, 특정주파수만이 발생하는 스트립라인과 달리 차단 주파수 이상에서의 모든 주파수 대역을 사용할 수 있는 이점이 있다. 다시 말하면, 스트립라인은 특정주파수만 전파될 수 있도록 폭과 길이를 정해서 제작되기 때문에, 특정주파수 이외의 주파수는 손실이 매우 크고 전파되더라도 급격히 소멸된다. 이에 반해, 도파관 공진기는 차단주파수 이하의 주파수는 소멸시켜 버리고 차단주파수 이상의 주파수는 통과시킨다.
- <57> 상기한 바와 같이, 상기 마이크로웨이브 소스(3)는 주파수 변조가 가능하고, 도파관 공진기(5)에서는 밀리미터웨이브 및 마이크로웨이브가 모두 사용될 수 있으므로 상기 마이크로웨이브 소스(3)에서 주파수를 변조하여 적절한 주파수의 웨이브를 사용할 수 있다.
- <58> 한편, 도 4b에 도시된 바와 같이 도파관 공진기(5)에 홀(8)을 형성하고, 이 홀(8)에 탐침(7)을 삽입한 다음 테프론(11)을 이용하여 실링함으로써 상기 탐침(7)을 고정시킬 수 있다. 상기 탐침(7)은 도파관 공진기(5) 내부로 완전히 삽입되지 않고, 일부(7a)는 도파관 공진기 내부로 들어가고, 나머지(7b)는 도파관 공진기 외부로 노출되도록 설치된다.
- <59> 도 3을 참조하면, 도파관 공진기(5) 외부로 노출된 탐침 부분(7b)에 근접하여 광학적 특성을 조사하고자 하는 샘플(10)이 위치한다. 상기 샘플(10)은 이동 가능한 지지대(13)에 올려져 있고, 상기 지지대(13)가 이동됨에 따라 상기 탐침(7)에 대해 샘플(10)의 전 영역이 스캐닝될 수 있도록 되어 있다.
- <60> 상기 탐침(7)은 금속, 유전체 또는 자성체로 이루어질 수 있다. 이 탐침(7)은 현미경의 분해능을 결정하는 중요한 요소 중 하나로서 KOH 용액에서 전기화학적으로 에칭하여 탐침의 끝단의 지름을 $10\mu\text{m}$ 이내로 제작한다. 탐침의 끝단의 지름이 작을수록 분해능이 향상된다. 또한,

분해능 뿐만 아니라 감도(sensitivity)를 향상시키기 위하여 도 4c에 도시된 바와 같이 부분 2 단계 에칭에 의해 제작된 하이브리드 탐침(7')을 사용할 수도 있다.

<61> 한편, 상기 탐침(7)은 도 4b에 도시된 바와 같이 도파관 공진기(5) 내부에 있는 부분 (7a)이 선형이고, 외부에 있는 탐침 부분(7b)이 선형으로 형성된 전기 탐침일 수 있다. 또는, 도 5에 도시된 바와 같이 도파관 공진기(5) 내부에 있는 부분(7'a)이 선형으로 형성되고, 도파관 공진기(5) 외부에 있는 탐침 부분(7'b)이 루프 형태로 형성된 자기 탐침(7')일 수 있다. 전기 탐침은 자기 탐침에 비해 상대적으로 임피던스가 크므로 임피던스가 큰 샘플에 대한 특성을 측정할 때 적당하고, 자기 탐침은 전기 탐침에 비해 상대적으로 임피던스가 작으므로 임피던스가 작은 샘플에 대한 특성을 측정할 때 적당하다.

<62> 다음은 상기 탐침(7)을 통해 흐르는 전류에 대해 알아보려고 한다. 도 4b를 참조하면, 상기 도파관 공진기(5)의 단면에서의 가로 길이를 a, 세로 길이를 b라 하고, 상기 탐침(7)의 도파관 공진기(5)에 결합된 가로 방향 위치를 x, 도파관 공진기(5) 내부로 결합된 탐침 부분 (7a)의 길이를 h라 할 때, 상기 탐침(7)을 통해 전파되는 전류값(I)과 전류밀도(J)는 수학식 4와 같다. 여기서, 탐침(7)이 y방향으로 배치되어 있으므로, 탐침(7)을 통해 흐르는 전류 밀도 J는 y방향 성분만을 가진다.

<63>

$$I(y) = I_0 \sin\left[\frac{\omega}{c}(h-y)\right]$$

【수학식 4】 $\vec{J} = I_0 \sin\left[\frac{\omega}{c}(h-y)\right] \delta(z) \delta(x-X) \hat{y}$

<64> 수학식 4에서, I_0 는 탐침(7)을 통해 전파되는 전류의 최대값, ω 는 $2\pi f$ 를, c는 광속을 각각 나타낸다. 또한, 탐침(7)을 통해 전파되는 웨이브의 크기 A_y 는 수학식 5와 같다.

<65>

【수학식 5】 $A_y = -2\pi \frac{Z_\lambda}{c} \int \vec{J} \cdot \vec{E} d^3x$

<66> 여기서, Z_λ 는 도파관 공진기(5)내의 파동임피던스를 나타낸다. 이와 같이 도파관 공진기(5)에 탐침(7)이 삽입된 경우에, TE 모드와 TM 모드에서 y 방향 성분만 남으므로 y 방향의 전기장 성분은 다음의 수학식 6과 같이 주어진다.

<67>

$$\begin{aligned} TM\text{모드}: E_{ymn} &= \frac{2\pi n}{\gamma_{mn}b\sqrt{ab}} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \\ TE\text{모드}: E_{ymn} &= \frac{2\pi m}{\gamma_{mn}a\sqrt{ab}} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \end{aligned}$$

【수학식 6】

<68> 상기 수학식 6에서 $\gamma_{mn}^2 = \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}\right)$ 를 나타낸다. 상기 수학식을 이용하여 탐침(7)으로 전파되는 TM 모드와 TE 모드 각각의 크기 A_{TM} 과 A_{TE} 를 구하면 다음과 같다.

<69>

$$\begin{aligned} TM\text{모드}: A_{TM} &= \frac{4\pi^2 Z_\lambda I_0}{c\gamma_{mn}\sqrt{ab}} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \frac{\cos\frac{\omega}{c}h - \cos\frac{n\pi}{b}h}{\left(n\frac{\pi}{b}\right)^2 - \left(\frac{\omega}{c}\right)^2} \frac{n}{b} \\ TE\text{모드}: A_{TE} &= \frac{4\pi^2 Z_\lambda I_0}{c\gamma_{mn}\sqrt{ab}} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \frac{\cos\frac{\omega}{c}h - \cos\frac{n\pi}{b}h}{\left(n\frac{\pi}{b}\right)^2 - \left(\frac{\omega}{c}\right)^2} \frac{m}{a} \end{aligned}$$

【수학식 7】

<70> 그리고, 상기 탐침(7)을 통하여 전파되는 전자기파의 주파수 f_1 는 다음과 같다.

<71>

$$f_1 = \frac{-Z_1 I_0}{a}$$

【수학식 8】

<72> 여기서, Z_1 은 TE₁₀ 모드의 파동 임피던스를 나타내는 것으로, $Z_1 = \frac{\kappa_0}{\eta_0} \frac{\eta_0}{\beta_1}$ 이며, κ_0 는 탐침의 도파관 공진기에 삽입된 깊이를, η_0 는 도파관 공진기 내부에 있는 매질의 특성임피던스로 예를 들어 377Ω을, β_1 은 전파상수를 나타낸다. 또한, I_0 는 도파관 공진기(5)를 따라 탐침(7)에 유입되는 입력 전류이다. 여기서, 탐침(7)을 통하여 유입되는 입력 전류의 저항 성분 R_m 을 고려하면 다음과 같다.

<73>

【수학식 9】
$$R_m = \frac{2P}{I_0^2} = \frac{bZ_1}{a}$$

<74>

상기 수학식 9에서 Z_1 을 고려하면, 탐침(7)을 전기적인 저항을 가진 샘플에 가깝게 즉, 근접장 영역으로 접근시키면 탐침(7)과 샘플(10) 사이에 전기적인 캐패시턴스 효과가 발생한다. 캐패시턴스는 샘플(10)에 유입되는 입력저항 성분을 낮추는 기능을 하고, 서로 다른 샘플에 대해서는 입력 저항 성분의 변화가 다르게 나타난다. 이러한 원리를 바탕으로 근접장 영역 안으로 샘플(10)을 접근시키면서 발생하는 입력저항 성분의 세기 변화를 정량적으로 측정함으로써, 샘플을 이미지화할 수 있다.

<75>

여기서, 근접장 효과에 의하여 샘플(10)과 TE_{10} 모드의 도파관 공진기(5)에 결합된 탐침(7)이 상호작용하면서 상기 수학식 9에 따라 탐침의 입력 저항 성분이 변하고, 상기 수학식 7에 따라 TE_{10} 모드의 진폭이 변한다. 이는 직사각형 단면을 가지는 도파관 공진기의 물질섭동 이론으로 설명할 수 있다.

<76>

또한, 상기 도파관 공진기(5)에 결합된 탐침(7)을 통해 샘플(10)에 웨이브가 전달되고, 이 웨이브와 샘플(10)의 상호작용에 의해 공진주파수의 세기가 변한다. 즉, 샘플(10)에 탐침(7)이 가까이 다가가면 샘플(10)을 포함한 새로운 공진기가 형성되고 샘플의 물리적 성질에 따라 이 새로운 공진기의 공진주파수가 변하게 된다. 따라서, 웨이브와 샘플의 상호작용에 의해 변화된 공진주파수를 측정하여 샘플의 특성을 알아낼 수 있다.

<77>

이와 같이 하여, 본 발명에 따른 근접장 현미경에서 도파관 공진기(5)에 결합된 탐침(7)과 샘플(10) 사이의 전기적 상호작용을 통하여 고감도, 고분해능의 근접장 이미지를 얻을 수 있다.

<78> 한편, 전자계 분포의 외형섭동(shape perturbation) 이론에 따라 도파관 공진기(5)의 공진 주파수의 변화는 다음의 수학식 10에 의해 설명될 수 있다.

<79>

$$\frac{f-f_0}{f_0} = \frac{\int_{v_0} (\mu |H_0|^2 - \epsilon |E_0|^2) dv}{\int_{v_0} (\mu |H_0|^2 + \epsilon |E_0|^2) dv}$$

【수학식 10】

<80> 여기서, E_0 와 H_0 는 섭동되지 않은 전기장과 자기장을 나타내며, ϵ 과 μ 는 섭동되지 않은 상태의 유전상수와 자화율을 나타낸다. 그리고, v 는 전자기장이 발생하는 영역의 부피, f 는 변화된 공진 주파수, f_0 는 변화되기 전의 공진주파수이다. 그런데, 상기 탐침(7)의 두께가 극히 얇은 경우, 탐침(7)이 도파관 공진기 (5) 내에서 차지하고 있는 단면적에서의 전자계가 일정하다고 가정할 수 있다. 이러한 가정을 하고, 상기 수학식 10에서 상기 도파관 공진기(5)의 $a/2$, $b/2$, $d/2$ 위치에 r_0 의 반지름을 가진 홀(8)을 형성하고 이 홀(8)에 탐침(7)을 설치하였을 때 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

<81>

$$\frac{f-f_0}{f_0} = -\frac{2d\pi r_0}{abd} = -\frac{2\Delta v}{v_0}$$

【수학식 11】

<82> 여기서, Δv 는 탐침(7)이 도파관 공진기(5)를 차지하고 있는 체적이고, V_0 는 탐침이 삽입되지 않아 섭동이 없는 도파관 공진기의 체적이다. 상기 수학식 11에 의하면, 탐침(7)이 도파관 공진기(5)에 깊이 결합할수록 도파관 공진기(5)의 공진주파수가 감소된다. 이러한 관계를 이용하여, 도파관 공진기의 공진주파수의 변화를 검사함으로써 탐침이 도파관 공진기에 결합한 깊이를 알 수 있다. 역으로, 도파관 공진기(5)에 탐침(7)을 결합시키는 깊이를 조절하여 공진주파수를 조절할 수 있다. 이와 같이 공진주파수를 다양하게 조절할 수 있으므로 도파관 공진기에서 사용할 수 있는 공진주파수의 범위가 넓어진다.

- <83> 한편, 상기한 바와 같이 TE₁₀ 모드의 도파관 공진기(5)에 탐침(7)을 결합하기 위하여 도파관 공진기(5)에 홀(8)을 형성하는데, 이 홀(8)을 통하여 전자계가 분극되는데 전기분극을 α_e 는 다음의 수학식 10과 같다.
- <84> **【수학식 12】**
$$\alpha_e = \frac{3}{2} r_0^3$$
- <85> 여기서, r_0 는 상기 홀(8)의 반지름을 나타내며, 전기분극은 홀(8)의 반지름의 3제곱에 비례한다. 이는 전자계가 홀의 반지름이 클수록 홀을 통하여 빠져나가는 분극전류의 세기가 커짐을 의미한다. 따라서, 상기 홀(8)을 최대한 작게 하는 것이 바람직하며, 분극을 막기 위해 상기 홀(8)을 테프론(11)을 이용하여 실링하는 것이다.
- <86> 다음, 본 발명의 제2 실시예에 따른 근접장 현미경은, 도 6a에 도시된 바와 같이 도파관 공진기(20)에 탐침(22)이 결합되고, 상기 도파관 공진기(20) 내부에 결합된 탐침 부분(22a)이 루프 형태로 되어 있는 것을 특징으로 한다. 제2실시예에 따른 근접장 현미경은 제1실시예와 비교할 때, 도파관 공진기(20)와 탐침(22) 구조만이 다르고 나머지 구성은 동일하다. 따라서, 도 3에 도시된 근접장 현미경의 전체적인 구조는 제2 실시예에 따른 근접장 현미경에도 동일하게 적용될 수 있다.
- <87> 패러데이 법칙에 의하면 상기 루프 형태의 탐침 부분(22a)을 통과하는 자기장 Hx 성분을 이용하여 탐침(22)에 기전력을 생기게 할 수 있다. 상기 루프 형태의 탐침 부분(22a)에 최대의 기전력을 생기게 하기 위해서는 자기장이 상기 루프 형태의 탐침 부분(22a)을 수직으로 통과하도록 해야 한다. 그런데, 자기장은 웨이브의 진행 방향에 수직한 방향을 가지기 때문에, 상기 루프 형태의 탐침 부분(22a)에 최대의 기전력이 생기도록 하기 위해서 상기 탐침 부분(22a)이 웨이브의 진행방향에 대해 평행하게 배치되는 것이 바람직하다. 그리고, 다음의 수학

식 10을 이용하여 루프 형태의 탐침 부분(22a)에 최대의 기전력(V)을 생기게 할 수 있는 위치를 찾을 수 있다.

<88> **【수학식 13】**
$$V = -\frac{\mu_0 j \omega a y H_0}{\pi} \left[2 \cos \frac{1}{2} \left\{ \frac{p\pi}{d} (z_f + z_i) \right\} \sin \frac{1}{2} \left\{ \frac{p\pi}{d} (z_f - z_i) \right\} \right]$$

<89> 상기 수학식에서, H_0 는 루프 탐침 부분(22a)을 관통하는 자기장의 최대값, p 는 TE_{10p} 모드에서의 p 값을 나타낸다. 또한, 도 6b를 참조하면, z_i 는 루프 탐침 부분(22a)의 전단 위치를, z_f 는 루프 탐침 부분(22a)의 후단 위치를, d 는 도파관 공진기(20)의 길이를 나타낸다. 상기 수학식에 따르면, 루프 탐침 부분(22a)을 $z_f=3d/2p$, $z_i=d/2p$ 에 위치시켰을 때 상기 탐침(22)에 최대의 전류를 발생시킬 수 있으며, 이때 최대 감도를 얻을 수 있다. 예를 들어, $p=2$ 일 때, 최대 기전력을 발생시키는 루프 탐침 부분(22a)의 위치는 $z_f=3d/4$, $z_i=d/4$ 이다. 또한, 루프 탐침 부분(22a)의 전단 위치(z_i), 루프 탐침 부분(22a)의 후단 위치(z_f)가 바뀌면 루프 탐침 부분(22a)의 면적이 변한다.

<90> 상기한 바와 같이 도파관 공진기(20)에 탐침(22)이 결합되는 위치에 따라 감도가 달라지므로 상기 탐침(22)의 위치를 조절할 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 이에, 도 6a에 도시된 바와 같이 상기 도파관 공진기(20)에 슬릿(25)을 형성하고, 이 슬릿(25)에 탐침(22)을 결합한다. 그리고, 상기 슬릿(25)을 따라 탐침(22)이 이동 가능하도록 함으로써 탐침(22)의 위치를 조절할 수 있도록 한다. 이와 같이 하여 모드에 따라 상기 탐침(22)에 최대의 기전력이 발생하는 위치를 용이하게 조절할 수 있다. 즉, 모드가 여러 개 존재할 때, TE_{10p} 모드에서의 p 값에 따라 최대 기전력이 발생하는 위치가 달라질 수 있을 뿐만 아니라, 주변환경(온도, 습도 등)에 의해 영향을 받으므로 최대 기전력이 발생하는 위치가 달라질 수 있다. 기전력이 최대가 되는

위치를 찾아 탐침(22)을 상기 슬릿(25)을 따라 이동시킴으로써 하나의 도파관 공진기(20)를 이용하여 다양한 모드에서의 샘플의 특성을 알아낼 수 있다.

- <91> 더 나아가, 상기 루프 탐침 부분(22a)의 면적을 조절하여 최대의 감도를 얻을 수 있다. 루프 탐침 부분(22a)의 면적이 넓을수록 루프를 통과하는 자기력선이 증가하므로 기전력이 증가한다. 상기 도파관 공진기(20) 내부에 생기는 여러 가지의 TE 모드와, 상기 루프 형태의 탐침 부분(22a)의 면적을 조절하여 최대의 감도를 얻을 수 있다. 그리고, 모드에 따라 샘플의 물리적 특성을 이미지화 했을 때 다르게 나타난다.
- <92> 상기 탐침(22)은 도파관 공진기(20) 외부에 위치하는 탐침 부분(22b)이 도 6b에 도시된 바와 같이 선형으로 된 전기탐침일 수 있다. 또는, 도 7에 도시된 바와 같이 타도파관 공진기(20) 외부에 위치하는 탐침 부분(22'b)이 루프 형태로 된 자기탐침(22')일 수 있다. 이때, 도파관 공진기(20) 내부에 위치하는 탐침부분(22'a)은 앞서 설명한 바와 같이 루프 형태로 되어 있다.
- <93> 한편, 상기 탐침(22)(22')의 재질에 따라 탐침을 통해 흐르는 전류의 입력저항 성분이 다르고, 이에 따라 모드별로 샘플의 특성이 다르게 나타난다. 예를 들어, 탐침의 재질이 자성체, 유전체 또는 도체인 것에 따라 입력저항성분이 다르게 나타난다. 예를 들어, 금속 탐침은 전도성이 좋은 강철을 사용한다.
- <94> 다음, 상기 제1실시예에 따른 근접장 현미경을 이용하여 샘플의 광학적 특성을 조사하는 작용에 대해 설명하며, 이 설명은 제2실시예에 따른 근접장 현미경에도 동일하게 적용될 수 있다.

- <95> 도 3을 참조하면, 웨이브 소스(3)로부터 출사된 웨이브가 아이솔레이터(4)를 경유하여 도파관 공진기(5)를 진행한다. 그리고, 도파관 공진기(5)에 결합된 탐침(7)을 통해 샘플(10)에 웨이브가 전달되고, 웨이브와 샘플(10)의 상호작용에 의해 입력저항과 공진주파수의 세기가 변한다. 입력저항과 공진주파수의 세기 변화를 측정하여 샘플의 특성을 알아낼 수 있다.
- <96> 한편, 샘플(10)에 대한 3차원 영상을 얻기 위하여 100nm의 분해능을 가지는 컴퓨터(미도시)로 구동할 수 있는 지지대(13)에 샘플(10)을 올려놓는다. 상기 지지대(13)는 인터페이스를 통하여 컴퓨터에 연결되어 자동조절된다. 상기 지지대(13)를 이동시켜 샘플(10)을 상기 탐침(7)에 대해 스캐닝함으로써 샘플의 3차원 영상을 얻을 수 있다.
- <97> 상기 탐침(7)과 샘플(10)의 상호작용에 의한 마이크로웨이브 및 밀리미터웨이브 영역의 공진주파수 세기 변화를 다이오드 검출기(12)에 의해 검출한다. 그리고, 디지털 밀리미터(13)에 의해 kHz 단위로 변조된 신호가 락-인 증폭기(lock-in amplifier)(14)에 의해 증폭된다. 상기 락-인 증폭기는 웨이브 소스(3)와 도파관 공진기(5) 사이에 신호대 잡음비를 향상시켜 노이즈를 최소화하기 위한 것이다. 이렇게 증폭된 신호는 컴퓨터(15)를 통하여 처리되어 이미지화된다.
- <98> 한편, 상기 웨이브 소스(3)와 도파관 공진기(5) 사이의 입력저항을 편다이오드 변조기(6)를 사용하여 변조할 수 있다.
- <99> 더 나아가, 상기 도파관 공진기(5)에서 여기되는 전자기장의 결합정도를 높이기 위하여 도파관 공진기(5)의 일측에 결합된 상기 튜너(9)를 이용하여 상기 도파관 공진기(5)의 길이를 조절한다. 특히, 상기 웨이브 소스(3)로부터 출사되는 웨이브의 파장을 λ 라고 할 때, 상기 도파관 공진기(5)의 길이를 $\lambda/4$ 로 조절하는 것이 바람직하다. 여기서, 도파관 공진기(5)의 길이를 $\lambda/4$ 로 조절하는 것은, 도파관 공진기(5) 내에 정상파가 생겨서 공진이 일어나도록 하기 위

한 것이다. 이와 같이 도파관 공진기(5)의 길이를 조절하여 도파관 공진기에 정상파가 생겼을 때 최대 보강간섭이 일어나서 에너지가 최대가 된다.

<100> 상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 근접장 현미경은 도파관 공진기에 전기 탐침 또는 자기 탐침을 결합하여 고분해능, 고감도로 샘플의 광학적 특성을 조사할 수 있다.

【발명의 효과】

<101> 상술한 바와 같이 본 발명에 따른 근접장 현미경은 도파관 공진기에 결합된 탐침을 통해 전달된 웨이브와 샘플 사이의 상호작용에 의해 입력저항과 공진주파수가 변하는 것을 측정함으로써 샘플의 광학적 특성을 알아낼 수 있다. 이와 같이 도파관 공진기에 결합된 탐침을 이용하여 마이크로웨이브 대역에서부터 밀리미터웨이브 대역까지의 근접장 영상을 얻을 수 있으며, 분해능을 향상시킬 수 있다. 또한, 도파관 공진기와 탐침을 사용하여 부피가 최소화되고, TE, TM 파에 따른 샘플의 전자기적 성질을 연구할 수 있다. 또한, 도파관 공진기에 삽입되는 탐침의 결합 깊이를 변화시켜 공진주파수의 조절이 가능하게 되어 작동 가능한 주파수 범위를 넓힘으로써 그 응용범위를 확장시킬 수 있다.

<102> 또한, 탐침이 도파관 공진기에 삽입되는 부분을 루프 형태로 형성하여 루프의 면적과 위치에 따라 최대의 감도를 얻을 수 있는 이점이 있고, 모드에 따른 근접장 이미지를 얻을 수 있다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

웨이브의 주파수를 조절할 수 있는 웨이브 소스;

상기 웨이브 소스로부터 출사된 웨이브가 진행되는 도파관 공진기;

상기 도파관의 외벽을 관통하여 삽입되어, 도파관을 통해 진행하는 웨이브가 샘플과 상호작용하도록 하는 탐침;

상기 탐침을 통해 전파되어 샘플과 상호작용한 후 상기 탐침과 도파관을 통해 진행된 웨이브를 검출하는 검출기;를 포함하는 것을 특징으로 하는 도파관 공진기를 이용한 근접장 현미경.

【청구항 2】

제 1항에 있어서,

상기 도파관 공진기의 일단에 이동 가능하게 결합되어 도파관 공진기의 길이를 조절할 수 있도록 된 튜너가 구비된 것을 특징으로 하는 도파관 공진기를 이용한 근접장 현미경.

【청구항 3】

제 1항에 있어서,

상기 도파관 공진기의 내부쪽에 있는 탐침 부분이 직선 형태로 된 것을 특징으로 하는 근접장 현미경.

【청구항 4】

제 1항에 있어서,

상기 도파관 공진기의 내부쪽에 있는 탐침 부분이 루프 형태로 된 것을 특징으로 하는 근접장 현미경.

【청구항 5】

제 1항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 도파관 공진기의 외부쪽에 있는 탐침 부분이 직선 형태 또는 루프 형태로 된 것을 특징으로 하는 근접장 현미경.

【청구항 6】

제 1항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탐침은,

금속, 유전체 또는 자성체로 이루어진 것을 특징으로 하는 근접장 현미경.

【청구항 7】

제 4항에 있어서,

루프 탐침 부분을 관통하는 자기장의 최대값을 H_0 , TE_{10P} 모드에서의 p값, 는 루프 탐침 부분의 전단 위치를 z_i , 루프 탐침 부분의 후단 위치를 z_f , 도파관 공진기의 단면의 가로길이를 a , 도파관 공진기의 세로 도파관 공진기의 길이를 d 라고 할 때, 상기 탐침에 발생하는 기전력의 크기는 다음의 조건식을 만족하는 것을 특징으로 하는 근접장 현미경.

<조건식>

$$V = -\frac{\mu_0 j \omega a y H_0}{\pi} \left[2 \cos \frac{1}{2} \left\{ \frac{p\pi}{d} (z_f + z_i) \right\} \sin \frac{1}{2} \left\{ \frac{p\pi}{d} (z_f - z_i) \right\} \right]$$

【청구항 8】

제 7항에 있어서,

상기 탐침은 $z_f=3d/2p$, $z_i=d/2p$ 에 배치되는 것을 특징으로 하는 근접장 현미경.

【청구항 9】

제 5항, 제 7항 또는 제 8항에 있어서,

상기 도파관 공진기에 슬롯이 형성되고, 탐침이 상기 슬롯을 따라 이동 가능하도록 된 것을 특징으로 하는 근접장 현미경.

【청구항 10】

제 1항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 도파관 공진기의 단면의 가로길이를 a , 세로길이를 b , m 과 n 은 정수일 때, 상기 도파관 공진기의 차단 주파수(f_{cmn})가 다음과 같은 조건식을 만족하고, 차단 주파수 이상의 주파수가 사용되는 것을 특징으로 하는 근접장 현미경.

<조건식>

$$f_{cmn} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

【청구항 11】

제 1항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서,

도파관 공진기에 탐침이 결합되기 전의 공진주파수와 부피를 각각 f_0 , v_0 , 도파관 공진기에 탐침이 결합된 후의 부피 변화를 Δv 라 할 때, 상기 도파관 공진기의 공진주파수(f)는 다음 조건식에 의해 변화되는 것을 특징으로 하는 근접장 현미경.

<조건식>

$$\frac{f-f_0}{f_0} = -\frac{2\Delta v}{v_0}$$

【청구항 12】

제 1항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 탐침은 부분 2단계 에칭에 의해 제작된 하이브리드 탐침인 것을 특징으로 하는 근접장 현미경.

【청구항 13】

제 1항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 웨이브 소스와 도파관 공진기 사이에 신호대 잡음비를 향상시켜 노이즈를 최소화하기 위한 락-인 증폭기(Lock-in-amplifier)가 구비되는 것을 특징으로 하는 근접장 현미경.

【청구항 14】

제 1항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 웨이브 소스는 마이크로 웨이브 또는 밀리미터 웨이브를 출사시키는 것을 특징으로 하는 근접장 현미경.

【청구항 15】

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 웨이브 소스로부터 출사되는 웨이브의 파장을 λ 라고 할 때, 상기 도파관 공진기는 $\lambda/4$ 의 길이를 가지는 것을 특징으로 하는 근접장 현미경.



1020030010710

출력 일자: 2003/8/4

【청구항 16】

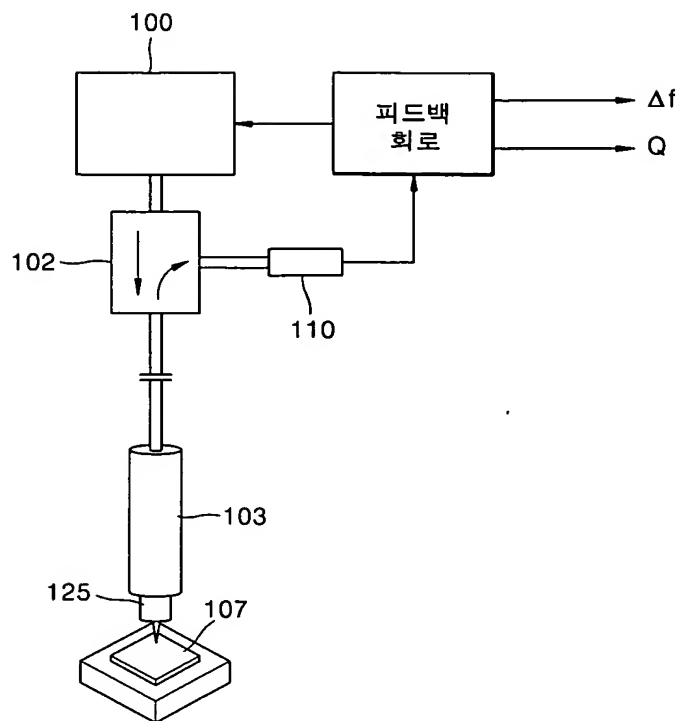
제 4항에 있어서,

상기 루프 형태의 탐침 부분은 웨이브의 진행방향에 대해 평행하게 배치되는 것을 특징
으로 하는 근접장 현미경.

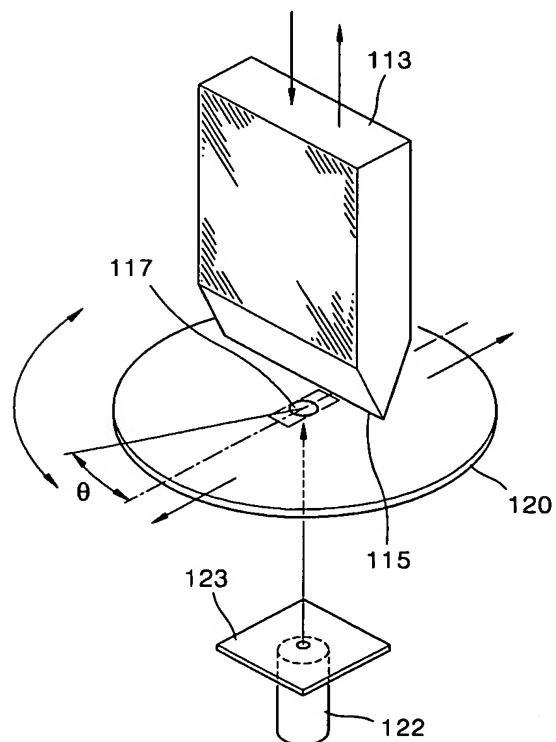


【도면】

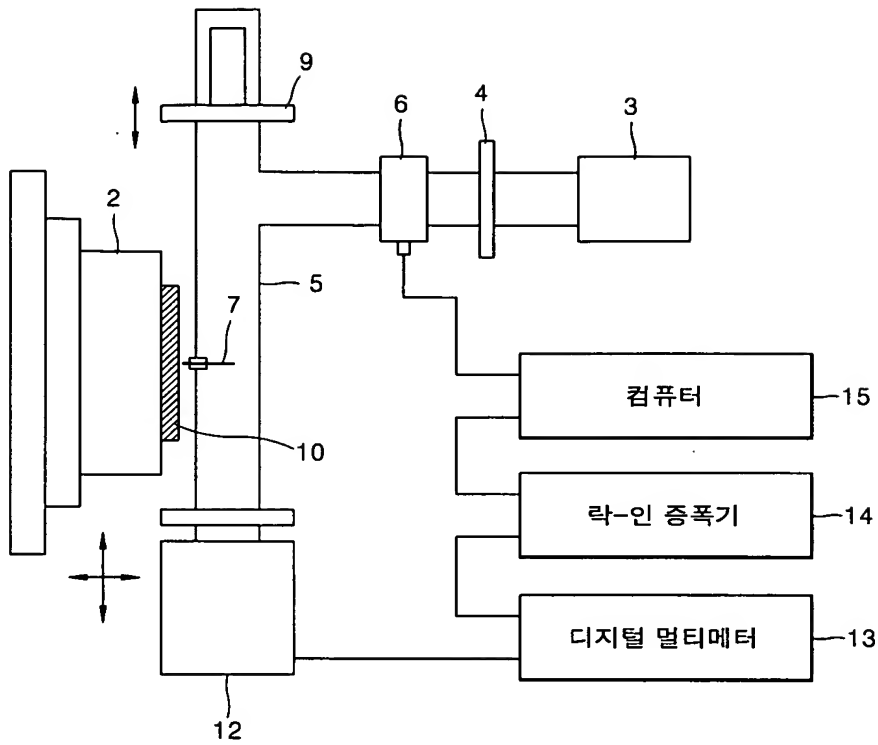
【도 1】



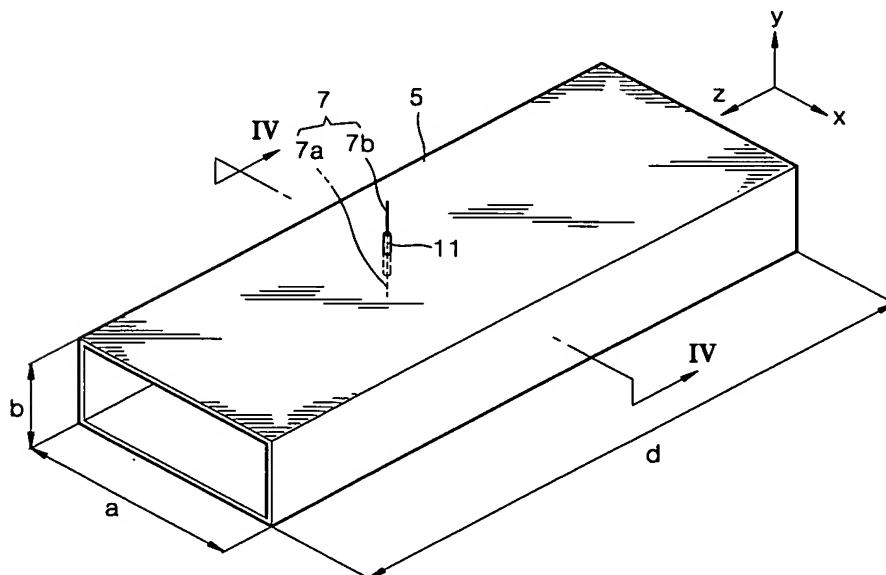
【도 2】



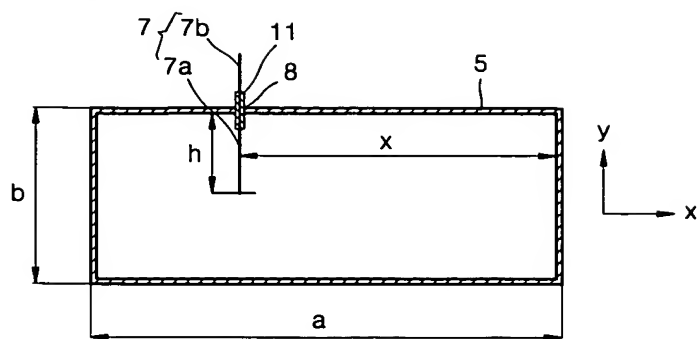
【도 3】



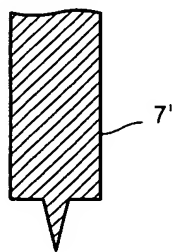
【도 4a】



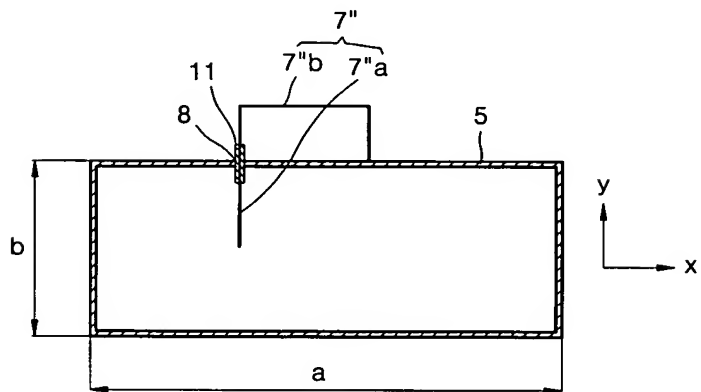
【도 4b】



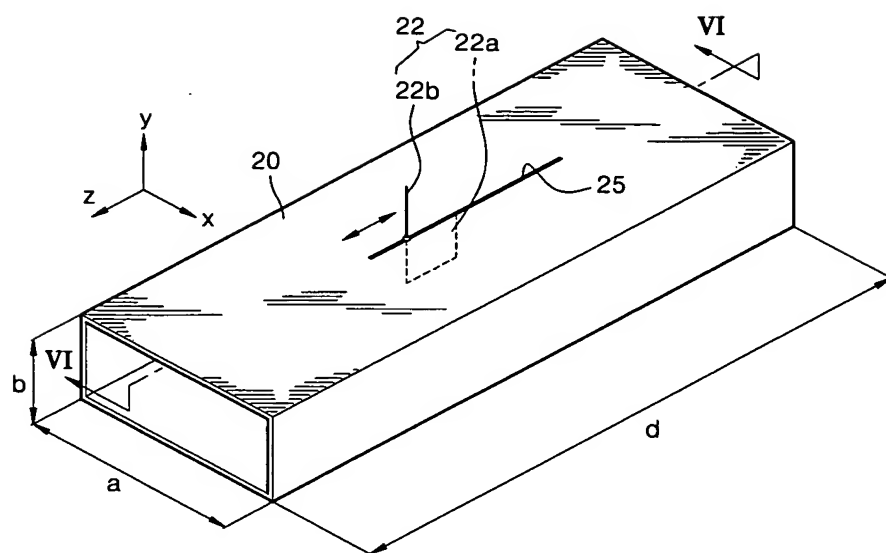
【도 4c】



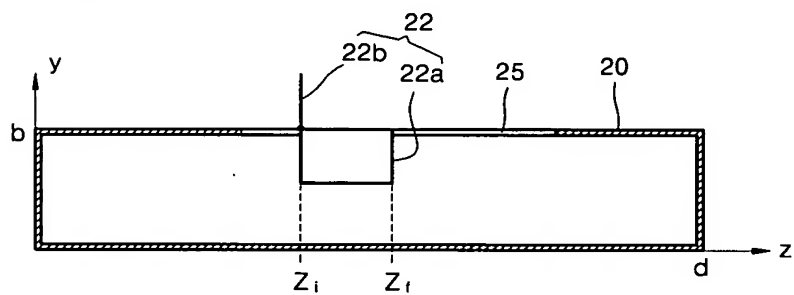
【도 5】



【도 6a】



【도 6b】



【도 7】

